

# 塔河油田碳酸盐岩漏失井 先期裸眼完井配套技术研究及应用

张佳, 李晓胜, 赵忠辉, 杨坤

(中国石化西北油田分公司完井测试管理中心, 新疆轮台 841600)

**摘要:**塔河油田为古生界奥陶系碳酸盐岩缝洞型油藏, 储层平均埋深 5 300~5 720 m, 最大埋深 7 143 m, 非均质性极强, 钻遇放空漏失率高达 30%, 漏失量大, 平均单井漏失钻井液 560 余方, 漏失井完井方式主要为先期裸眼完井。传统的完井配套技术在组下完井管柱及穿换井口过程中存在较大井控安全隐患, 通过对井口控制技术、完井管柱安全组下技术两方面的优化研究, 从根本上消除了作业安全隐患, 保证了高风险井完井井控安全, 节约了作业成本。

**关键词:**漏失; 井口控制; 完井; 塔河油田

**中图分类号:** TE257

**文献标识码:** A

## Open hole completion technology for carbonate leaking wells, Tahe oil field

Zhang Jia, Li Xiaosheng, Zhao Zhonghui, Yang Kun

(Completion Test Management Center, SINOPEC Northwest Company, Luntai, Xinjiang 841600, China)

**Abstract:** The Tahe oil field is a carbonate fractured-and-vuggy reservoir in Ordovician. Reservoir depth averages 5 300~5 720 m, with a maximum of 7 143 m. It has a strong heterogeneity, and drilling leakage rate reached 30% with a large leaking volume, about 560 m<sup>3</sup> of drilling fluid for each single well. Open hole completion technology was applied to leaking wells. The traditional well completion technology has some shortcomings when grouping completion pipe column and changing for wellhead. We optimized wellhead controlling technology and the safe deployment of well completion pipe string, which fundamentally eliminated hidden troubles to ensure the safety of high-risk operations, controlled well safety, and saved operation cost.

**Key words:** leakage; well control; well completion

塔河油田为古生界奥陶系碳酸盐岩缝洞型油藏, 非均质性极强, 钻遇放空漏失率高, 塔河主体区块钻遇放空漏失率 30%, 托甫台放空漏失率 40.74%, 10 区北和 12 区钻遇漏失放空率分别为 37.7% 和 39.5%, 漏失量大, 溢流漏失现象交替频繁, 井控安全形势异常严峻<sup>[1]</sup>。

塔河油田碳酸盐岩漏失井先期裸眼完井配套技术发展先后经历了钻遇漏失后压井采用光管柱完井和带封隔器完井工艺, 两阶段均不能规避穿换井口这一风险环节。此外, 在组下完井管柱过程中无法获知井筒液面位置, 要依靠经验进行灌浆、压井, 往往出现盲目提高泥浆比重, 过度灌浆等问题, 导致地层先漏后涌或油气置换上窜, 使得井况更加复杂<sup>[2]</sup>; 同时过度灌浆会造成较为严重的储层污染。

针对以上情况, 急需一种新技术, 既满足放空

漏失异常复杂井的井筒作业和换装井口作业的绝对安全, 又最大程度地降低完井费用。通过近两年来不断探索与完善, 逐渐形成了以钻采一体化四通为核心的井口控制技术和以声呐液面实时监测为核心的完井管柱安全组下技术的完井配套技术, 有效地解决以上难题。

### 1 碳酸盐岩漏失井先期裸眼完井工艺现状

塔河油田碳酸盐岩漏失井先期裸眼完井配套技术发展主要经历了 2 个阶段。

1998-2006 年为第一阶段, 该阶段是在已经打开油气层的前提下, 采用“光管柱”完井, 需要进行穿换井口作业。此工艺流程存在以下缺陷: (1) 在已经打开油气层的前提下, 进行穿换井口作业过程中井内油管 and 环空均处于敞开和无控状态, 井控风

险大;(2)穿换井口作业过程中现场需要动火切割打磨井口余留套管,存在一定的人身安全隐患;(3)组下完井管柱期间,环空过度灌浆会造成严重的储层污染。

2006-2010年为第二阶段,该阶段在已经打开油气层的前提下,管柱带有封隔器进行完井作业,通过机械封隔器坐封于套管达到封隔环空、下入油管堵塞器或盲堵达到封隔油管的目的;解决了在穿换井口作业过程中井口无控的问题。此工艺流程同样存在缺陷:(1)依然进行穿换井口作业,人身安全隐患问题未能解决;(2)管柱中下入封隔器,增加了成本;(3)稠油井在封隔器解封后与环空间隙小,影响掺稀生产。

## 2 井口控制技术研究

随着钻采一体化四通的研发应用成功,漏失井先期裸眼完井进入第三阶段。

钻采一体化四通是在钻开油气层前进行安装,在完井阶段不需要切割打磨井口余留套管和穿换完井井口,不必采用机械封隔器坐封于套管来达到封隔环空,避免了在穿换井口作业过程中井口无控的危险(图1)。

钻采一体化四通既可满足钻开油气层的钻井

作业要求,也可满足后期采油生产要求,相对普通采油四通有以下特点:(1)侧翼通径从65 mm增大至78 mm,满足钻井和完井需要;(2)垂直通径由160 mm增大至230 mm,满足5"钻具钻井和修井作业需要;(3)部分先期使用70 MPa井口油管测试未见产能井,后期需要进行储层酸压改造时,需要更换成105 MPa井口,采油树和采油四通都要更换。钻采一体化四通上法兰型号统一为105MPaBX158法兰,无须更换采油四通,直接更换采油树即可。

针对塔河油田常用井身结构,自主设计研制了满足现场需要的2种类型钻采一体化四通,其技术参数如下:(1)适用于7"套管到井口的钻采一体化四通(I型)如表1所示。

(2)适用于7"套管未到井口的钻采一体化四通(II型)如表2所示。

## 3 完井管柱安全组下技术研究

塔河油田碳酸盐岩油层漏失频繁,由于地层易漏易涌,在组下完井管柱期间主要依靠经验进行灌浆、压井,由于钻遇漏失后液面不在井口,往往出现盲目提高泥浆比重,过度灌浆等问题,导致地层先漏后涌或油气置换上窜,使得井况更加复杂<sup>[2]</sup>;同

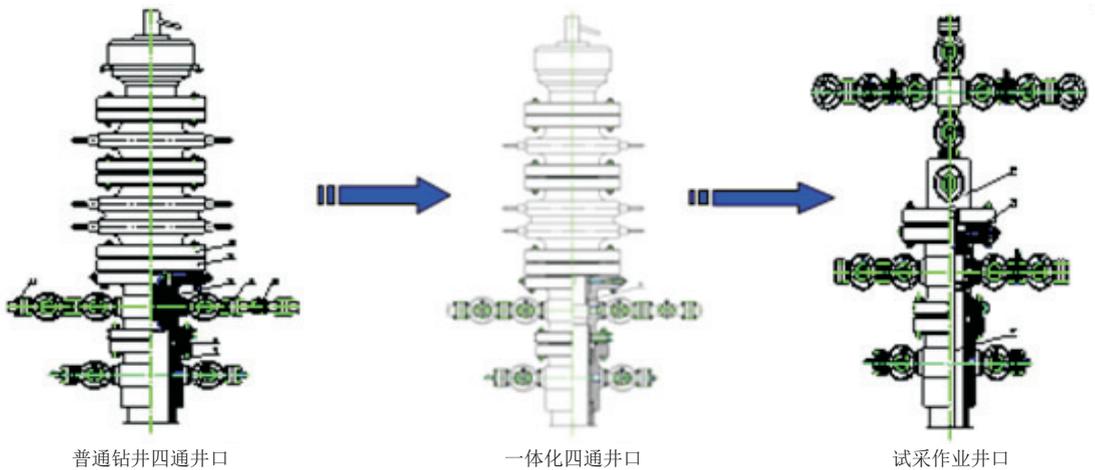


图1 一体化四通现场安装工艺流程

Fig.1 Site installation of integrated cross pipes

表1 普通采油四通与钻采一体化四通(I型)参数对比

Table 1 Ordinary cross pipes and drilling and producing integrated cross pipes ( I )

规格型号	普通采油四通		钻采一体化四通
井口压力	70 MPa	105 MPa	70 MPa
上法兰	7- <sup>1</sup> / <sub>16</sub> "×10K BX156	7- <sup>1</sup> / <sub>16</sub> "×15K BX156	11"×15K BX158
下法兰		11"×10K BX158	
侧翼出口	2- <sup>9</sup> / <sub>16</sub> "×10K BX153	2- <sup>9</sup> / <sub>16</sub> "×15K BX153	3- <sup>1</sup> / <sub>16</sub> "×10K BX154
垂直通径		160 mm	
下法兰套管密封尺寸		7"	

表 2 普通采油四通与钻采一体化四通 ( II 型) 参数对比

Table 2 Ordinary cross pipes and drilling and producing integrated cross pipes ( II )

规格型号	普通采油四通		一体化四通
井口压力	70 MPa	105 MPa	70 MPa
上法兰	7- <sup>1</sup> / <sub>16</sub> "×10K BX156	7- <sup>1</sup> / <sub>16</sub> "×15K BX156	11"×15K BX158
下法兰	11"×10K BX158		13- <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "×5K BX160
侧翼出口	2- <sup>9</sup> / <sub>16</sub> "×10K BX153	2- <sup>9</sup> / <sub>16</sub> "×15K BX153	3- <sup>1</sup> / <sub>16</sub> "×10K BX154
垂直通径	160 mm		230 mm
下法兰套管密封尺寸	7"		9- <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "
备注	下部直接加工 9- <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "套管 BT 密封孔,减少了目前需要安装的 02 部分套管头		

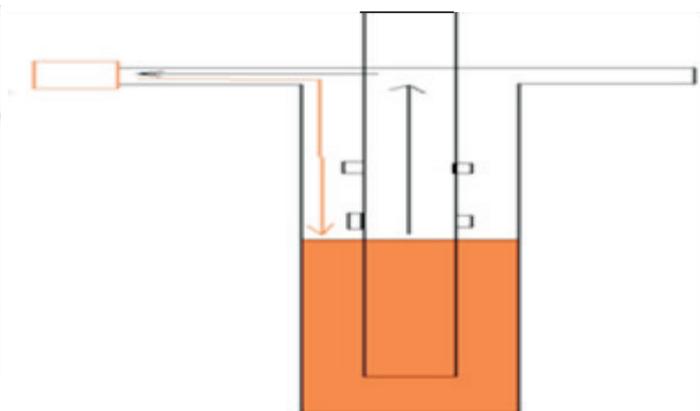


图 2 声呐监测技术原理

Fig.2 Principle of sonar monitoring technology

时过度灌浆会造成较为严重的储层污染。

以声呐液面实时监测为核心的完井管柱安全组下技术能够实时监测到漏失井起钻和组下完井测试管柱期间准确的井筒动态液面深度,为科学压井和灌浆提供依据,又同时减少泥浆漏失量,降低储层污染,保护了油气层。

声呐液面实时监测技术采用便携式非爆炸监测方式(图 2),将仪器与井口设备连接,利用氮气瓶里的氮气做动力,控制仪器发出声呐脉冲波(瞬间爆破声),脉冲波传至井下液面,遇液体后返回,计算机接收返回脉冲,由于脉冲波传播时振幅发生变化,通过对各种井下噪声信号进行过滤,计算接箍数或声呐传播的时间就得到井下液面深度<sup>[3]</sup>。通过现场试验及 100 余井次的实际应用,其探测范围为 0~5 000 m 井深,误差在 50 m 以内,准确性较高。

#### 4 现场应用情况

优化后的漏失井先期裸眼完井配套技术包括了井口控制技术、完井管柱安全组下技术,自 2009 年研制成功以来,已在漏失井应用 634 井次(表 3)。

#### 5 经济效益评价

(1) 井口不再需要再安装 02 部分套管头,每

表 3 漏失井先期裸眼完井配套技术应用情况统计

Table 3 Application of open hole completion technology for carbonate leaking wells

井口套管类型	7"	9- <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "
井次/口	228	406

井可节约近 4 万元。

(2) 简化了井下管柱,节省了封隔器、滑套等井下工具附件费用,每井可节约近 8.5 万元。

(3) 组下完井测试管柱期间可实时监测到井筒动态液面变化情况,补液定量化,降低了补液量,平均每井可节约泥浆近 120 m<sup>3</sup>,节约 2.4 万元。

(4) 在完井阶段不用再穿换井口,可节约换装井口 4 小时,每井可提前出油 12 t,多获益 3.53 万元(按平均原油销售价格 2 938.41 元/t 计算)。

#### 6 成果及认识

(1) 以钻采一体化四通为核心的井口控制技术及以声呐液面实时监测为核心的完井管柱安全组下技术,形成了一整套全新的漏失井先期裸眼完井配套技术,从根本上解决了漏失井先期裸眼完井井控安全问题,确保了井控安全。

(2) 该技术简化了井下管柱,在完井阶段不用

(下转第 125 页)

左右需对再生冷却器管束清洗一次,随着环境温度的升高,发生硫堵的周期有可能缩短,根据实际情况每年非计划平均清理 8 次。清洗更换过程中,装置再生气放空气量达  $2\ 500\ \text{Nm}^3/\text{h}$ ,根据平均更换、试压、置换作业时间 4 h 进行计算,每次造成的天然气损失达  $10\ 000\ \text{Nm}^3$ 。以天然气价格  $0.8\ \text{元}/\text{m}^3$  进行计算,每年因再生气冷却器管束硫堵清洗,造成天然气放空经济损失为 6.4 万元。清洗再生气冷却器管束一次的施工费、材料消耗费用大概为 1.5 万元,设备吊装、拆卸、安装费用为 5 000 元,以每年最少进行非计划清洗 8 次计算,造成经济损失为 16 万元。采油三厂天然气处理装置避免再生气冷却器硫堵现象发生,每年可节约成本 22.4 万元。

(3)安全环保效益。采油三厂天然气处理装置脱硫工艺系统改造后,为产品销售、使用、运输提供了安全保障,减少了天然气能源的浪费,从而相应地降低了天然气燃烧生成  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{CO}_x$ 、粉尘污染物的产生量,对减轻大气污染加强环境保护具有重大的积极作用。避免了天然气放空管线长时间处于高温状态,有效地预防了放空管线发生腐蚀

刺漏、着火、爆炸等重大事故。

## 5 结论

通过工艺优化措施,可以完全杜绝产品不合格及再生气冷却器硫堵。该项目实施应用后,不仅为采油三厂天然气处理系统提供了长期安全、高效、平稳运行有力保障,杜绝了因脱水再生气冷却器堵塞造成的天然气体放空,减少了设备维护费用,产生了较好的经济效益,为天然气处理、投资设计及改造提供了一个经济、简便、高效的改造方案,此项目成果可更多地应用和推广。

### 参考文献:

- [1] 陈庚良.克劳斯法硫磺回收工艺技术[M].北京:石油工业出版社,2007.
- [2] 中国石油股份有限公司.Q/SY30-2002 天然气长输管道气质要求[S].北京:中国石油股份有限公司,2002.
- [3] 马俊.醇胺法干气脱硫工艺在催化裂化装置上的应用[J].炼油与化工,2016(1):20-21.
- [4] 王智力,黄爱斌,陈平,等.N-甲基二乙醇胺溶液对  $\text{H}_2\text{S}$  和  $\text{CO}_2$  的吸收模拟[J].化工工程,2010,38(6):5-9.

(编辑 徐文明)

(上接第 120 页)

再换装井口,实现了科学补液,节约了泥浆、保护了油气层。已成功应用 58 井次,平均每井产生经济效益 18.43 万元,累计经济效益 1 068.94 万元,经济效益显著。

(3)该技术已在塔河油田及外围区块漏失井中全面推广,对于国内其它油田具有普遍的参考意义,推广应用前景广阔。

### 参考文献:

- [1] 焦方正,窦之林.塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏开发研究与实践[M].北京:石油工业出版社,2008.
- [2] 高永红,孙宝江.应用事故树法对深水井控进行风险评估[J].石油钻采工艺,2008,30(2):23-27.
- [3] 李流军,刘俊峰.声呐环空液面检测仪现场试验[J].内蒙古石油化工,2008,(10):16-18.

(编辑 叶德燎)